

# Uso de modelos moleculares para ilustrar la arquitectura interna de los materiales de construcción

Marcos Lanzón Torres

Marcos Lanzón Torres

Doctor en Química por la Universidad de Murcia

**Centro de Investigación:**

Universidad Politécnica de Cartagena.

marcos.lanzon@upct.es

## RESUMEN

Este trabajo muestra las relaciones existentes entre determinadas propiedades de los materiales de construcción y su arquitectura molecular. Se analiza primero la forma de moléculas sencillas y, a continuación, se muestran estructuras más complejas como cadenas lineales o ciclos moleculares. El trabajo hace mayor énfasis en los materiales plásticos, cerámicos y metálicos, pues algunas de sus propiedades se deducen fácilmente usando modelos moleculares. Los modelos se pueden adaptar a casos particulares y permiten profundizar en el conocimiento fundamental de materiales para arquitectura y edificación.

*Palabras clave: Modelos moleculares, Geometría molecular, Propiedades de Materiales.*

## ABSTRACT

This paper provides connections between the observed macroscopic properties of building materials and their structure at a molecular level. First, basic structures are built using 'molecular building models' to show the simplest molecular geometries. After this, more complex structures as molecular chains or cyclic molecules are also analyzed. Additional emphasis is made on plastic, ceramic and metallic materials since their properties can be explained in a simple way by examining the molecular models. The molecular models can be easily adapted to case studies and they may be useful to improve our fundamental knowledge of architectural and building materials.

*Keyword: Molecular models, Molecular geometry, Materials' properties.*

La percepción de la forma, textura o color de los materiales está claramente conectada con su naturaleza microscópica y, en definitiva, molecular. A escala molecular se encuentran formas y patrones que, en ocasiones, resultan de gran utilidad para explicar determinadas propiedades de los materiales. En la materia existe un orden característico y se pueden encontrar conexiones sorprendentemente lógicas entre la arquitectura molecular y las citadas propiedades. Se discutirán algunas propiedades químico-físicas básicas, tales como: punto de ebullición, reactividad o durabilidad, viscosidad, deformación mecánica, regioselectividad, densidad y conductividad térmica de los materiales. El objetivo de este trabajo es poner de manifiesto tales conexiones.

## 2. Materiales, métodos y definiciones básicas.

### 2.1. Materiales.

Se usaron dos kits de modelos moleculares para ilustrar la naturaleza y geometría de las moléculas. Se trata de modelos con átomos intercambiables y varillas de plástico que simulan enlaces covalentes.

El kit A [1] está formado por esferas de distintos colores que simulan átomos. Los enlaces simples se representan mediante varillas rígidas de plástico de color gris con una longitud constante de 1.95 cm. Los dobles enlaces se realizan con varillas flexibles de 3.2 cm. El kit A solo permite coordinaciones de hasta 4 átomos alrededor de un átomo central. Análogamente se usó un segundo kit B [2] compuesto de 540 átomos en diferentes colores y tubos de plástico huecos para realizar los enlaces. Este kit permite ilustrar coordinaciones de cinco o seis átomos alrededor del átomo central.

Asimismo, se usaron esferas de pingpong, *modelo Artengo 40*, en dos colores para confeccionar maquetas que demostrasen la forma de empaquetamiento de los átomos en los metales.

### 2.2. Metodología.

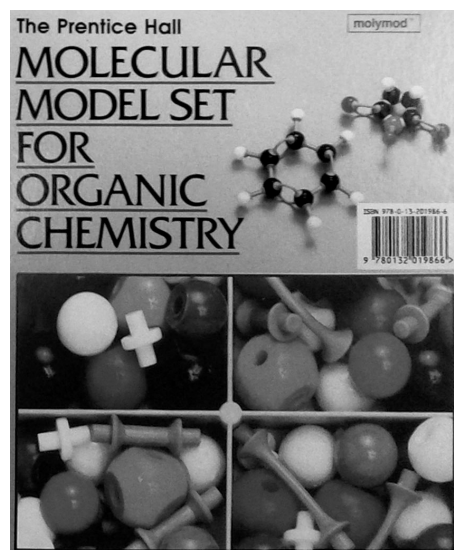
Para mostrar la geometría básica de las moléculas y los materiales poliméricos, se construyeron modelos moleculares usando los Kits A y B antes citados. Cuando se elaboraron estructuras más complejas, se incorporaron otros recursos prestados con autorización del Materials Research Science and Engineering Center on Structured Interfaces de la University of Wisconsin-Madison (National Science Foundation; DMR-1121288, DMR-0520527 and DMR-0079983).

Para los materiales metálicos se construyeron maquetas de esferas de pingpong pegadas con adhesivo acrílico transparente. Las maquetas se desarrollan en planos que permiten visualizar la alternancia de capas siguiendo estructuras tipo *hexagonal compacta ABA* o *cúbica compacta ABC*. Las capas son fácilmente distinguibles por la coloración blanca y naranja de las esferas. Una vez construidas las maquetas con los respectivos kits, los modelos moleculares resultantes fueron fotografiados con una cámara digital Pentax modelo *Optio A30*.

### 2.3. Definiciones de interés.

–COORDINACIÓN. Indica el número de átomos unidos a un átomo de referencia.

–HIBRIDACIÓN. Combinación matemática entre orbitales atómicos para formar orbitales híbridos que por su forma y ángulo explican mejor la geometría molecular.



KIT DE MODELOS MOLECULARES (1).



KIT DE MODELOS MOLECULARES (2).

[1] Molecular model set for organic chemistry. Prentice Hall, 2010.

[2] Orbit molecular building system; organic and inorganic chemistry. Cochranes of Oxford Ltd., 1971.

Molécula	Estructura Molecular	Hibridación	Ángulos	Geometría
H <sub>2</sub>		-	H-H 180°	Lineal
H <sub>2</sub> O		sp <sup>3</sup>	H-O-H ≈104°	Angular
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>		sp <sup>2</sup>	H-C-H 120°	Plana
NH <sub>3</sub>		sp <sup>3</sup>	H-N-H ≈109°	Piramidal
CH <sub>4</sub>		sp <sup>3</sup>	H-C-H ≈109°	Tetraédrica
Br <sub>2</sub>		sp <sup>3d</sup>	Br-Br-Br 180° Br-P-Br 120° Br-P-Br 90°	Bipiramidal trigonal
SF <sub>6</sub>		sp <sup>3d<sup>2</sup></sup>	F-S-F 90° F-S-F 180°	Octaédrica

TABLA 1. ESTRUCTURAS MOLECULARES BÁSICAS: ALGUNOS EJEMPLOS.

—ÁNGULO DE ENLACE. Ángulo que forman los átomos en una molécula.

—PUNTO DE EBULLICIÓN. Temperatura a la cual la presión de vapor de un líquido iguala la presión de vapor del medio en que se encuentra. Coloquialmente, temperatura a la que se produce el cambio de estado de líquido a gas.

—REACTIVIDAD. Capacidad de reaccionar de una especie química (material) modificando así su naturaleza.

—VISCOSIDAD. Resistencia de un fluido a fluir.

—MONÓMERO. Es la unidad química más simple que se repite en un polímero.

—TERMOPLÁSTICO. Polímero que de forma reversible se puede fundir y, por tanto, es moldeable por encima de una temperatura determinada.

—TERMOESTABLE. Polímero que, por estar muy ramificado, es poco deformable y no se puede fundir.

—RAMIFICACIÓN. Punto de unión entre cadenas lineales en polímeros (puente). La ramificación aumenta la rigidez de los polímeros.

—EXFOLIACIÓN. Tendencia de un material a separarse a lo largo de un plano estructural cristalográfico bien definido y débil.

—RADICAL LIBRE. Átomo que soporta un electrón.

—REGIOSELECTIVO. Proceso químico en el que se favorece la formación de un enlace con un átomo particular de entre todos los átomos posibles.

—DENSIDAD. Masa de materia contenida en un determinado volumen.

—CONDUCTIVIDAD TÉRMICA. Capacidad de un material de transportar calor por conducción.

### 3. Desarrollo de formas moleculares.

#### 3.1. Formas moleculares básicas.

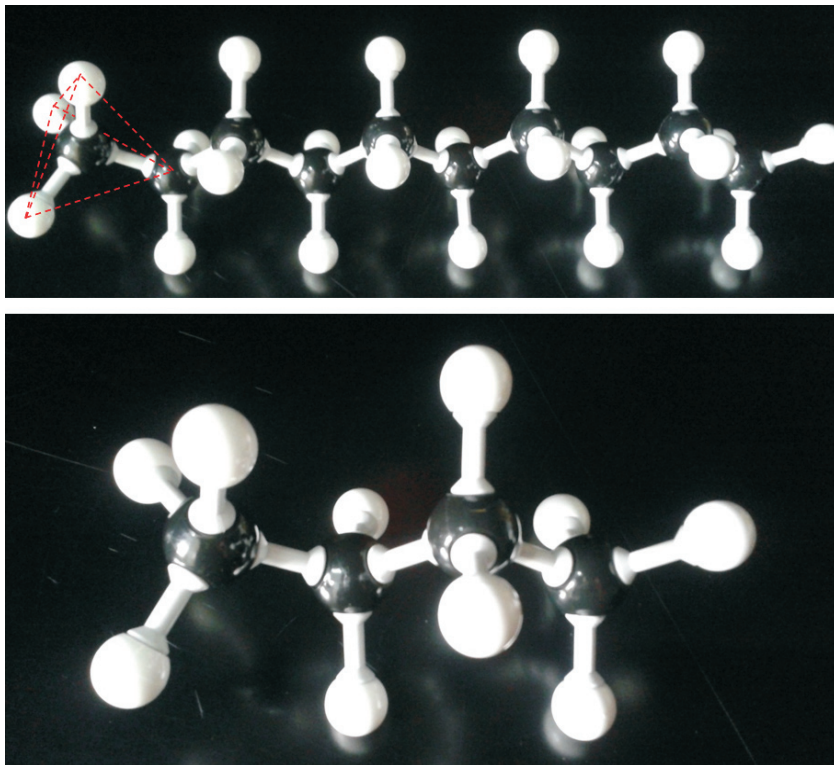
Las geometrías moleculares básicas incluyen la configuración lineal, angular, plana, piramidal, tetraédrica, bipiramidal y octaédrica [3], [4]. En la Tabla 1 se presentan ejemplos concretos incluyendo estructura, *hibridación*, *ángulos de enlace* y geometría propuesta. Estos patrones geométricos se repiten con frecuencia en moléculas complejas como las desarrolladas en epígrafes posteriores.

#### 3.2. Cadenas lineales.

Las moléculas simples pueden agruparse en configuraciones lineales para formar estructuras de mayor tamaño. Así, por ejemplo, los silicatos consisten en agrupaciones de tetraedros de silicio y oxígeno cuyos vértices se comparten mediante enlaces covalentes. En la Fig. 1, se representa el dímero más sencillo posible de un silicato, formado por la agrupación de solo dos tetraedros (Si<sub>2</sub>O<sub>6</sub><sup>2-</sup>). Podemos definir la molécula como una cadena lineal formada por dos tetraedros unidos por sus vértices [4]. En la Fig. 2 se repre-

[3] Petrucci Ralph H., Harwood William S., Herring F. Geoffrey. General Chemistry. Principles and Modern Applications. Pearson Prentice Hall, 8th edition, 2005.

[4] Housecroft Catherine E., Sharpe A.G. Inorganic Chemistry. Pearson Prentice Hall, 2<sup>nd</sup> edition, 2005.



sentan cadenas lineales de alcanos, un tipo de hidrocarburos formados por tetraedros de carbono e hidrógeno que responden a la estructura general  $C_nH_{2n+2}$ , siendo  $n$  el número de átomos de carbono en la cadena. La primera estructura molecular corresponde al decano,  $C_{10}H_{22}$ , y la segunda al butano,  $C_4H_{10}$ . El decano es líquido a temperatura ambiente, mientras que a esa misma temperatura el butano es un gas. La diferencia en el estado de agregación se debe a que la interacción intermolecular es más fuerte en estructuras de mayor tamaño (decano). Por tanto, la longitud de cadena es tan importante que a temperatura ambiente los alcanos de cadena corta son gases ( $n \leq 4$ ), líquidos para un tamaño intermedio de la cadena ( $n = 5-19$ ) o sólidos cuando el número de átomos de carbono de la cadena es elevado ( $n \leq 20$ ). Detrás del punto de ebullición de estos compuestos están las fuerzas de van der Waals que, en definitiva, se encuentran a su vez condicionadas por la geometría y forma de la moléculas.

### 3.3. Moléculas cíclicas.

Las moléculas pueden ciclarse o cerrarse sobre sí mismas para formar ciclos cuya estabilidad o *reactividad* varía en función del tamaño. Con modelos moleculares, se puede demostrar que los enlaces para estructuras cíclicas de tres o cuatro átomos sufren mayor tensión que los de orden superior *Fig. 3*. El ángulo de enlace marcado en el ciclobutano, anillo de cuatro miem-

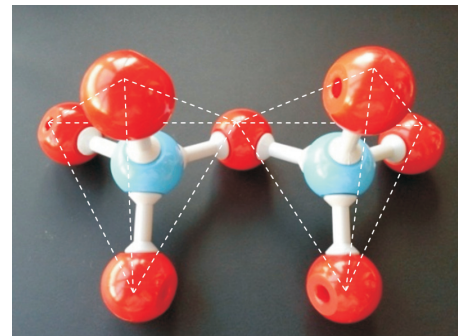


FIGURA 1. DÍMERO FORMADO POR DOS UNIDADES DE  $SiO_4^{4-}$  COMPARTIENDO UNO DE SUS VÉRTICES PARA FORMAR  $Si_2O_7^{6-}$ .

FIGURA 2. DECANO Y BUTANO TIENEN ESTRUCTURAS LINEALES DE DIFERENTE TAMAÑO. EL PRIMERO ES MÁS PESADO Y LÍQUIDO, MIENTRAS QUE EL SEGUNDO ES MÁS LIVIANO SIENDO UN GAS A TEMPERATURA AMBIENTE.

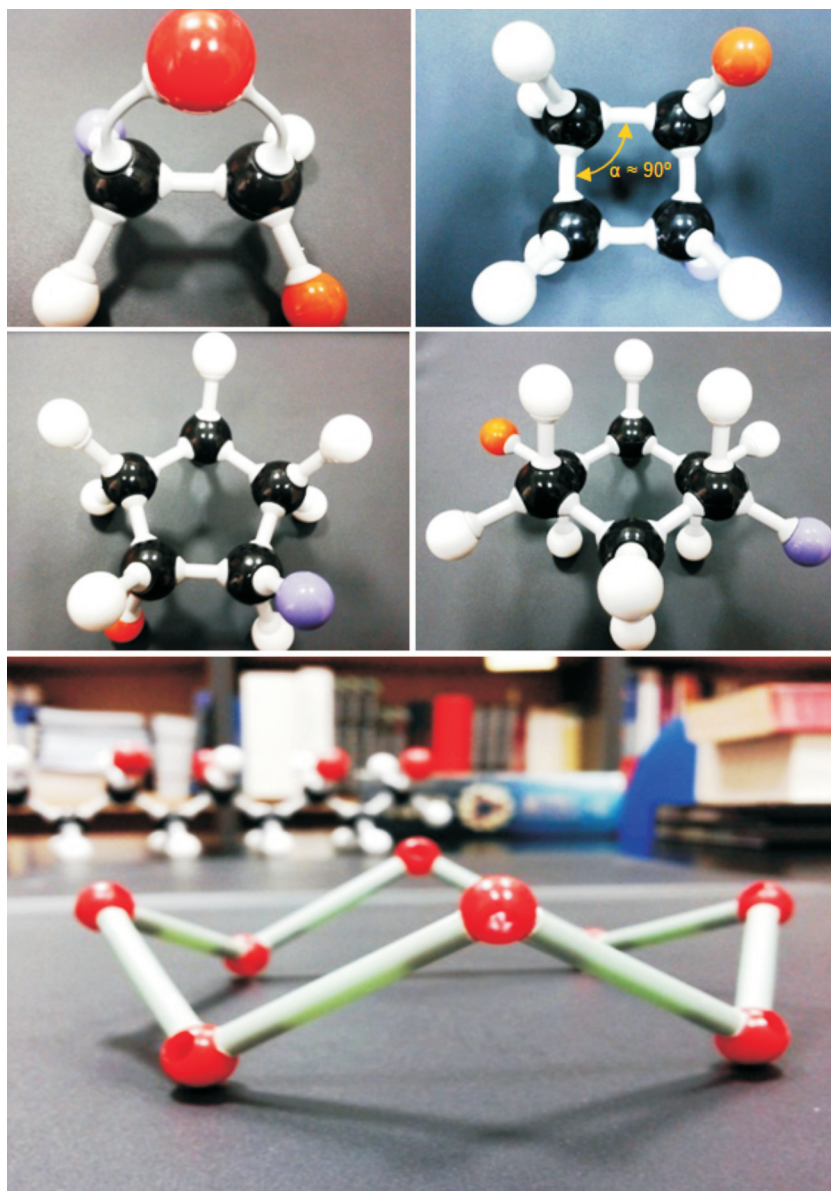


FIGURA 3. ANILLOS DE TRES, CUATRO, CINCO, SEIS Y OCHO MIEMBROS (EPÓXIDO, CICLOBUTANO, CICLOPENTANO, CICLOHEXANO Y AZUFRE  $S_8$ , RESPECTIVAMENTE).

bros de la figura, es aproximadamente  $90^\circ$  cuando este carbono está en hibridación  $sp^3$  y, por tanto, su ángulo natural de enlace es mayor ( $109^\circ$ ) tal como se aprecia en la *Tabla 1*. Esto quiere decir que, por norma general, los anillos de menor número de átomos no son estables y se abren con facilidad por efecto de la temperatura u otros reactivos presentes en el medio. En la síntesis de las resinas epoxi intervienen *epóxidos*, es decir, anillos de tres miembros muy reactivos (tensionados) que se 'abren' con facilidad para dar materiales poliméricos estables.

Por el contrario, en la naturaleza abundan compuestos formados por anillos de seis miembros que, por tanto, son muy estables. Así por ejemplo, la *celulosa* es un biopolímero de enorme importancia y que consiste en la repetición de anillos de seis miembros de glucosa ( $C_6H_{12}O_6$ ).

### 3.4. De los dímeros a las macromoléculas.

Cuando el número de *eslabones* o elementos de la cadena aumenta, la molécula resultante se convierte en una estructura grande y pesada. El término macromolécula se aplica a superestructuras moleculares cuyo peso molecular es mayor a 10.000 uma (unidades de masa atómica). Las proteínas y los polímeros sintéticos tales como los termoplásticos, termoestables y elastómeros son ejemplos de macromoléculas. Los *polímeros* se componen de miles de unidades simples o elementales denominadas *monómeros* [5]. Al igual que los alcanos, los polímeros poseen estructuras moleculares bastante lineales y de gran longitud de cadena por lo que, al igual que los alcanos de cadena larga, son sólidos a temperatura ambiente. Debido a su elevado tamaño molecular, las estructuras poliméricas son difíciles de construir con modelos moleculares, por lo que su estructura molecular se puede simular usando espagueti. Las cadenas del polímero rozan entre sí y se arrollan formando 'nudos' que introducen fricciones y tensión a nivel molecular. Debido a la interacción entre cadenas, la mayoría de polímeros son viscosos en estado líquido pues se ha de vencer el rozamiento molecular para hacerlos fluir. La *viscosidad*, un parámetro de gran interés práctico en fluidos, pone de manifiesto que existen numerosas interacciones entre las cadenas moleculares de los polímeros.

Los polímeros *termoplásticos* se parecen bastante al modelo simulado en la *Fig. 4*, y con frecuencia consisten en estructuras moleculares poco ramificadas. El término *ramificación* se aplica a dos o más cadenas diferentes, conectadas entre sí por un punto (ramificación). A mayor número de ramificaciones las moléculas son más dependientes y el material resultante es también más rígido. Al contrario que los termoplásticos, los polímeros termoestables presentan numerosas ramificaciones y, por tanto, prácticamente no se deforman al superar su límite elástico. Este tipo de estructuras se comporta como si se tratara de una gran molécula muy ramificada y, por tanto, difícil de deformar. Como vemos, las propiedades mecánicas básicas de los materiales plásticos están muy conectadas con su arquitectura molecular. Esta relación está presente en el diseño de los materiales, pues para fabricar la funda de un cable eléctrico usaremos materiales poco ramificados (PVC u otros termoplásticos). Si lo que necesitamos son materiales es-

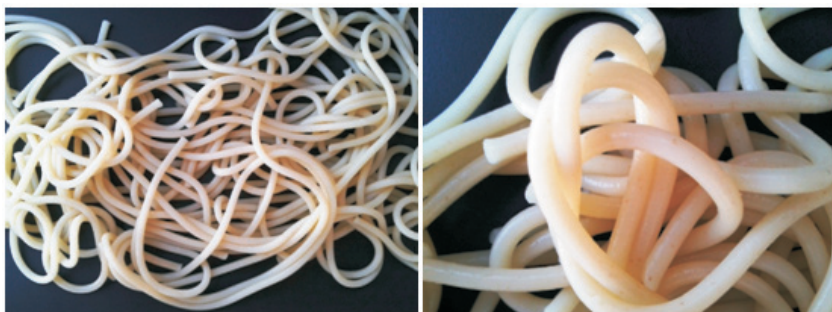


FIGURA 4. LOS POLÍMEROS SE COMPONEN DE CADENAS LINEALES QUE SE ENROLLAN COMO SI FUERAN CABLES. ESTE COMPORTAMIENTO SE ILUSTRAN EN LA FIGURA CON ESPAGUETI.

[5] Dictionary of Chemistry. McGraw-Hill, 2<sup>nd</sup> edition, 2003.

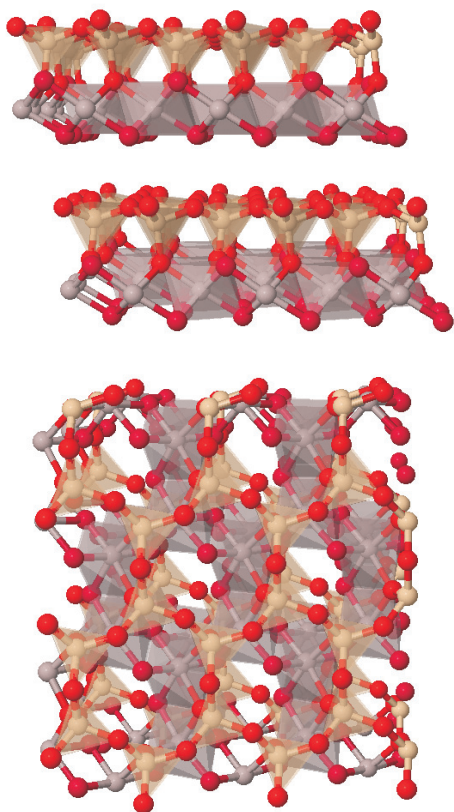


FIGURA 5. ARCILLA MOSCOVITA COMPUESTA POR PLANOS DE TETRAEDROS (BEIGE) UNIDOS A PLANOS DE OCTAEDROS (GRIS). ARRIBA (ALZADO): ENTRE LAS CAPAS OCTAÉDRICAS Y TETRAÉDRICAS SE APRECIA EL ESPACIO INTERLAMINAR. ABAJO (PLANTA): LOS GRUPOS TETRAÉDRICOS QUEDAN UNIDOS POR SUS VÉRTICES FORMANDO CICLOS DE SEIS MIEMBROS, QUEDANDO LA BASE DE LOS MISMOS ORIENTADA AL OBSERVADOR.

tructurales, nuestro campo de acción será el de los polímeros rígidos (ramificados), tales como las resinas epoxi, otros termoestables e incluso los materiales compuestos.

### 3.5. Cerámicos: tetraedros y octaedros.

El término *cerámico* abarca un amplio espectro de materiales cuyas geometrías moleculares son complejas pero bien ordenadas (simétricas). Se trata de compuestos inorgánicos muy estables, que pueden ser semiconductores o aislantes e incluso tener carácter refractario. En construcción destacan los vidrios, el cemento y, especialmente los productos de arcilla cocida como ladrillo, teja, bloque o baldosa cerámica. Las dos entidades geométricas más representativas de los materiales cerámicos son el tetraedro y el octaedro. Los tetraedros consisten en átomos de silicio coordinados con cuatro oxígenos ubicados en los vértices del poliedro, mientras que los octaedros poseen un átomo de aluminio coordinado con seis átomos de oxígeno en los vértices del poliedro. Las arcillas, materia prima básica en la fabricación de elementos cerámicos para edificación, consisten en estructuras formadas por planos de tetraedros y octaedros unidos entre sí *Fig. 5*.

En la arquitectura molecular de las arcillas un detalle de su estructura nos da la clave para predecir dos de sus propiedades: exfoliación y plasticidad. El espacio interlaminar que separa los planos de tetraedros y octaedros constituye el plano natural de exfoliación de las arcillas, pues representa la zona débil por la que la estructura molecular se 'rompe' o separa como si se tratara de una baraja de cartas. Por otra parte, este espacio interlaminar juega un papel importante al servir de zona de acumulación de agua o de intercambio de elementos (cationes y aniones). De hecho, muchas arcillas modifican su volumen significativamente al absorber una cierta cantidad de agua que queda retenida en el espacio interlaminar de la estructura. Por tanto, la mayoría de arcillas son plásticas y moldeables (trabajables) pues el agua facilita el deslizamiento de los planos de exfoliación. Cuando el agua se evapora, la distancia entre planos vuelve a disminuir produciéndose una contracción. Por tanto, la aparición de fisuras en las arcillas y materiales cerámicos está relacionada con su forma molecular.

### 3.6. Dobles enlaces conjugados: el color.

Las moléculas orgánicas con dobles enlaces alternados (conjugados) absorben la radiación electromagnética visible (380-750 nm) y presentan color. Cuando hay conjugación, cada enlace doble formado por un enlace sigma y otro pi ( $\sigma$  y  $\pi$ ), va seguido de un enlace simple sigma ( $\sigma$ ). Un ejemplo de molécula conjugada es la *4-fenil diazenil anilina*, de color amarillo intenso. La

molécula es completamente plana al tener dobles enlaces conjugados. El desarrollo de estos pigmentos permitió generar colores vivos e intensos que no podían lograrse con los pigmentos tradicionales *Fig. 6*.

### 3.7. Procesos regioselectivos: la síntesis del PVC.

El PVC o cloruro de polivinilo es un termoplástico muy usado en instalaciones, revestimientos o carpinterías. La síntesis del polímero es regioselectiva, es decir, cada molécula de monómero (cloruro de vinilo) reacciona siempre a través del mismo átomo o posición [6], [7]. El polímero crece por reacción de radicales libres quedando cada monómero integrado en una cadena molecular cuyo extremo soporta siempre el radical libre. Usando modelos moleculares podemos recrear la síntesis del PVC de manera gráfica: El proceso comienza con la formación de un radical libre desde un peróxido *Fig. 7*. A continuación, el radical libre formado reacciona con el primer monómero de cloruro de vinilo. Esta etapa pone de manifiesto la naturaleza regioselectiva del proceso, ya que el radical libre se une siempre al átomo de carbono (color negro) unido a dos hidrógenos (en blanco). Por tanto, el nuevo radical libre formado queda siempre sobre el átomo de carbono unido al átomo de cloro (esfera verde):

Como se puede apreciar en la *Fig. 8* aunque, en principio, hay dos átomos de carbono para soportar el radical libre, el radical se forma siempre en el átomo de carbono unido a cloro. Esta regioselectividad se respeta siempre en el proceso de síntesis del PVC aunque la conformación espacial podría ser más variada dado que la geometría del monómero de cloruro de vinilo es plana (*Fig. 8*; derecha). Esto quiere decir que el ataque del radical peróxido sobre el monómero plano podría producirse tanto por el plano superior como por el inferior aunque siempre sobre el mismo átomo de carbono, es decir, regioselectivamente.

### 3.8. El empaquetamiento metálico.

Los metales presentan una disposición interna ordenada y característica. Se trata de materiales densos y muy buenos conductores del calor y la corriente eléctrica. Casi todos los metales de interés en construcción son metales de transición y ocupan una posición especial en el sistema periódico *Fig. 10*. A continuación, se analiza de nuevo la estructura atómica de estos materiales con el propósito de explicar algunas de sus propiedades.

#### Estructura 2D:

Si analizamos un plano de átomos dentro de una red cristalina metálica, encontramos que el número de coordinación es elevado. Esto favorece el

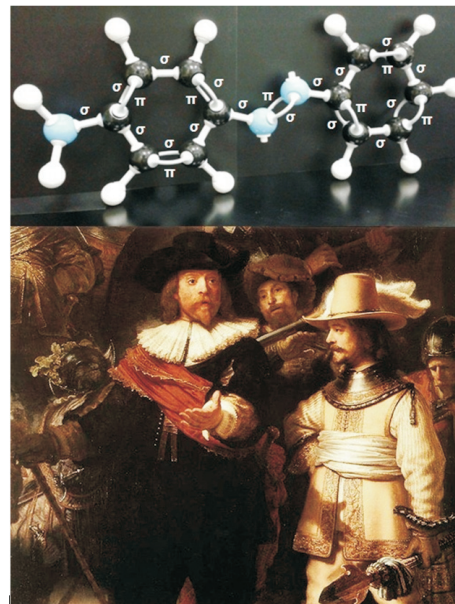


FIGURA 6. ESTRUCTURA CONJUGADA DEL COLORANTE AZOICO AMARILLO 4-FENIL DIAZENIL ANILINA. LA MOLÉCULA ES PLANA Y PRESENTA COLOR POR TENER DOBLES ENLACES ALTERNADOS CON ENLACES SIMPLES (CONJUGACIÓN). LOS PIGMENTOS AZOICOS SON POSTERIORES A LOS USADOS EN PINTURA CLÁSICA (TIERRAS, SULFUROS, ÓXIDOS). LA COLORACIÓN AMARILLA EN ESTE CUADRO DE REMBRANDT 'LA RONDA DE NOCHE' DE 1642, SE LOGRÓ CON ANTIMONIATO DE PLOMO,  $Pb_2Sb_2O_7$ .

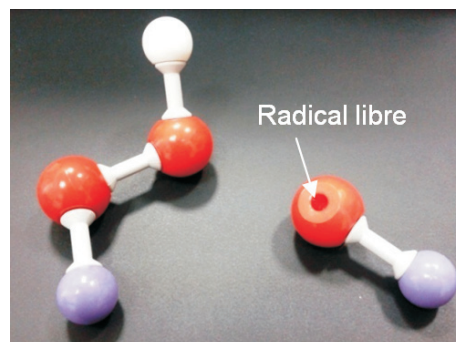


FIGURA 7. GENERACIÓN DEL PRIMER RADICAL LIBRE.

[6] Michael B. Smith, Jerry March. *Advanced Organic Chemistry. Reactions, mechanisms and structure*. John Wiley & Sons, 6th edition, 2007.

[7] Robert T. Morrison, Robert N. Boyd. *Organic Chemistry*. Prentice Hall, 6th edition, 1992.

[8] James F. Shackelford. *Introduction to materials science for engineers*. Prentice Hall, 6th edition, 2005.



FIGURA 8. REACCIÓN DEL RADICAL LIBRE PRECURSOR CON LA PRIMERA MOLÉCULA DE MONÓMERO (CLORURO DE VINILO). FORMACIÓN REGIOSELECTIVA DE UN NUEVO RADICAL LIBRE EN EL ÁTOMO DE CARBONO UNIDO A CLORO. CARBONO (NEGRO); HIDRÓGENO (BLANCO); CLORO (VERDE); OXÍGENO (ROJO).

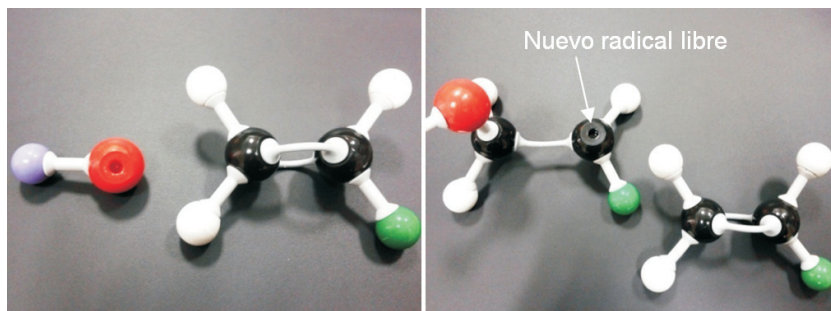


FIGURA 9. CRECIMIENTO PROGRESIVO DEL POLÍMERO POR VÍA RADICALARIA Y REGIOSELECTIVA. A LA DERECHA SE MUESTRA UNA CADENA LINEAL QUE PUEDE ESTAR FORMADA POR HASTA 24000 UNIDADES DE MONÓMERO (CLORURO DE VINILO).

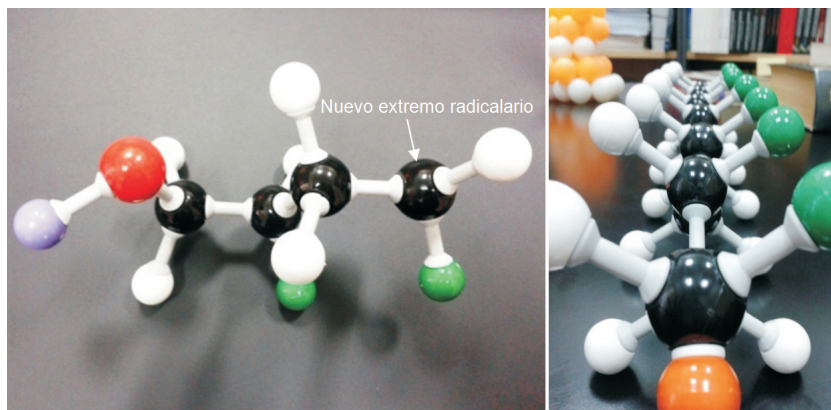
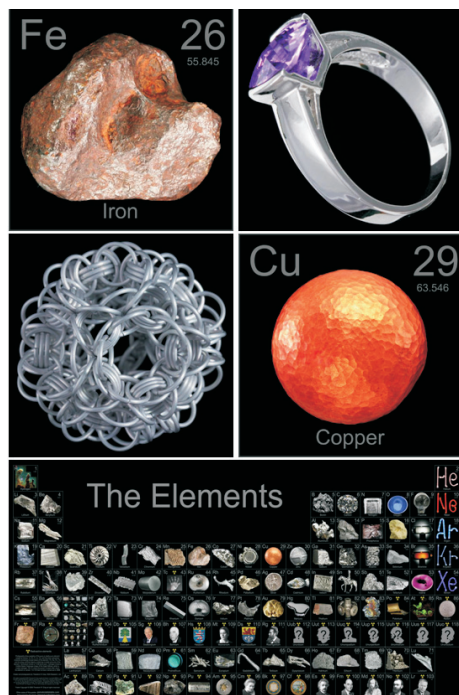


FIGURA 10. FRAGMENTO DE METEORITO DE HIERRO (METAL OXIDABLE), ANILLO RECUBIERTO DE RODIO (METAL MUY POCO OXIDABLE), CADENA DE ALUMINIO, COBRE ELEMENTAL Y SISTEMA PERIÓDICO DE LOS ELEMENTOS. IMAGEN CEDIDA POR CORTESÍA DE THEODORE GRAY (HTTP://PERIODICTABLE.COM).



alto nivel de empaquetamiento observado en los metales y, por tanto, su elevada densidad *Fig. 11*. En el modelo desarrollado la coordinación de cada átomo en el mismo plano es igual a seis y sería la forma más eficiente de empaquetar las partículas en el plano, pues todas ellas se tocan en seis puntos con otros átomos vecinos dispuestos progresivamente a  $60^\circ$ .

### Estructura 3D:

En los metales, la estructura tridimensional puede representarse por capas planas de átomos, coordinados hexaédricamente, apiladas entre sí. Al montar las capas unas sobre otras pueden darse las opciones indicadas en la *Fig. 11*. En el primer caso, sobre las capas A y B, en color naranja y blanco, la proyección de la tercera capa coincide con la primera, por lo que la estructura se denomina ABA. La segunda opción es que las proyecciones no sean coincidentes en cuyo caso la configuración es ABC [8]. Como muestra la imagen, el átomo de la última capa está unido a tres átomos de la capa inferior, y estaría unido a tres de la superior y otros seis átomos dentro de su misma capa, por lo que la coordinación total por átomo es 12.

De los modelos atómicos desarrollados deducimos que los metales son materiales densos, pues confinan un elevado número de partículas de masa considerable en un volumen reducido. Otra característica de los metales se puede deducir por su elevada coordinación y, por tanto, la elevada interdependencia que presentan partícula a partícula. Dado que la capacidad de transportar calor por conducción depende de la cercanía entre partículas, los metales son magníficos conductores del calor, lo que los inhabilita

en gran medida para muchas aplicaciones en edificación. Los coeficientes de *conductividad térmica* en metales son del orden de entre 50-600 veces superiores que en materiales cerámicos como el ladrillo. En el sistema periódico, el carácter metálico queda especialmente de manifiesto en los denominados metales de transición.

#### 4. Conclusiones.

Algunas propiedades básicas de los materiales pueden explicarse de forma sencilla con la ayuda de estructuras desarrolladas desde modelos moleculares o maquetas. Estos modelos tienen, por tanto, un indudable valor didáctico para el aprendizaje de materiales en disciplinas como la ingeniería o la arquitectura.

Los modelos moleculares son una herramienta flexible tanto en su construcción como por la visualización que de los mismos se haga. El análisis de las distintas perspectivas geométricas de las estructuras moleculares, tales como su 'elevación' o 'alzado', nos permite comprender mejor sus propiedades.

Determinados conceptos más abstractos como la durabilidad, la reactividad o la regioselectividad que opera en la síntesis de un material, se pueden analizar de forma cualitativa usando modelos moleculares. ■

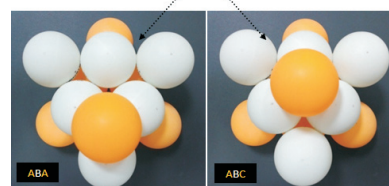
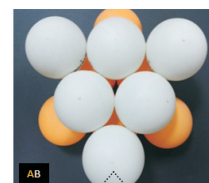
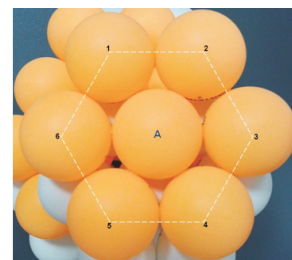


FIGURA 11. ARRIBA: MODELO DE EMPAQUETAMIENTO METÁLICO BIDIMENSIONAL (PLANTA). CADA ESFERA (A) ESTÁ COORDINADA CON SEIS ÁTOMOS EN EL MISMO PLANO. ABAJO: MODELOS TRIDIMENSIONALES DE EMPAQUETAMIENTO METÁLICO; TRAS UNA DOBLE CAPA ELEMENTAL AB, LOS ÁTOMOS METÁLICOS PUEDEN API- LARSE EN DOS COMBINACIONES: ABA O ABC.

#### BIBLIOGRAFÍA

- HOUSECROFT Catherine E., Sharpe A.G. *Inorganic Chemistry*. Pearson Prentice Hall, 2<sup>nd</sup> edition, 2005.  
MORRISON, Robert T. *Boyd. Organic Chemistry*. Prentice Hall, 6<sup>th</sup> edition, 1992.  
SHACKELFORD, James F. *Introduction to materials science for engineers*. Prentice Hall, 6<sup>th</sup> edition, 2005.

Fecha de recepción:  
15 de septiembre de 2013

Fecha de aceptación:  
18 de octubre de 2013